



Recherche de vertex dans les émulsions OPERA et détection du lepton tau

M. Besnier

► To cite this version:

M. Besnier. Recherche de vertex dans les émulsions OPERA et détection du lepton tau. Journées Jeunes Chercheurs JJC 2006, Dec 2006, La Rochelle, France. pp.81-84. in2p3-00168503

HAL Id: in2p3-00168503

<https://hal.in2p3.fr/in2p3-00168503>

Submitted on 28 Aug 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Table des matières

I	Session Neutrinos	3
	Magali Besnier : <i>Recherche de vertex dans les émulsions OPERA et détection du lepton tau</i>	5
1.1	Introduction	5
1.2	Situation expérimentale sur les neutrinos	5
1.3	L'expérience OPERA	5
1.4	Mesure d'impulsion par diffusion coulombienne multiple	6
1.5	détection du lepton τ dans le canal $\tau \rightarrow 3h$	7

Recherche de vertex dans les émulsions OPERA et détection du lepton tau

Magali Besnier

L.A.P.P., Annecy



Résumé

L'expérience OPERA va permettre d'observer directement l'oscillation $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$, et ainsi valider sans ambiguïté l'hypothèse expliquant la disparition des ν_μ atmosphériques. L'expérience reprend le principe de détection "ECC" (Emulsion Cloud Chamber) utilisant des briques d'émulsions nucléaire, précédemment employé par l'expérience DONUT qui a mis en évidence le ν_τ [1] par reconstruction de vertex. Mon travail montre qu'il est également possible de mesurer l'impulsion des particules par diffusion coulombienne multiple jusqu'à 8 GeV avec une résolution de 33%. D'autre part, j'ai calculé les performances d'OPERA dans le canal du τ en 3 hadrons, et montré que ce canal contribue significativement à la mise en évidence d'interactions ν_τ dans OPERA.

1.1 Introduction

Le travail présenté dans ce document s'inscrit dans le cadre de l'expérience OPERA. Après un aperçu de la situation expérimentale actuelle sur les neutrinos, je présente brièvement l'expérience; je décris ensuite mon étude sur la mesure d'impulsion par diffusion coulombienne dans les briques OPERA; enfin, je présente l'analyse du canal du τ en 3 hadrons et la discrimination de son bruit de fond charmé.

1.2 Situation expérimentale sur les neutrinos

En 1998, le détecteur SuperKamiokande au Japon, a mesuré un déficit des neutrinos atmosphériques qui avaient parcouru une longue distance (ceux ayant traversé la Terre) par rapport à ceux arrivant directement au dessus du détecteur. Pour expliquer ce phénomène, l'hypothèse des oscillations de neutrinos a été avancée, et est aujourd'hui bien établie : l'oscillation $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ a été exclue par CHOOZ (expérience sur réacteur) dans ce domaine des paramètres, et l'oscillation $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$ reste la solution privilégiée.

D'après le modèle théorique, des neutrinos de masses non nulles ont la faculté d'osciller d'un état de saveur à

un autre : les trois états de saveur des neutrinos (ν_e , ν_μ et ν_τ) peuvent s'écrire comme combinaison linéaire des trois états de masse (ν_1 , ν_2 et ν_3), à l'aide d'une matrice de mélange unitaire, qui peut se décomposer en fonction de 3 angles de mélange θ_{12} , θ_{23} , θ_{13} , une phase δ de violation de CP, et deux phases de Majorana [2]. La probabilité d'oscillation fait intervenir des paramètres intrinsèques aux neutrinos, les 3 angles θ_{ij} , ainsi que les carrés des différences de masse des états propres de masse Δm_{ij}^2 ; elle dépend aussi du rapport L/E , où L est la longueur parcourue par le neutrino et E son énergie.

Pour l'oscillation $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$, dans le cas du CNGS on peut approximer :

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) \approx \cos^4(\theta_{13}) \sin^2(\theta_{23}) \sin^2(2\Delta m_{23}^2 * \frac{L}{4E})$$

1.3 L'expérience OPERA

Les résultats de SuperKamiokande sur la disparition de ν_μ atmosphériques ont été confirmés par K2K en 2002 et MINOS en 2006, premières expériences sur faisceau "long baseline". OPERA a commencé à prendre des données en août 2006 [3]. C'est la seule expérience de détection directe du ν_τ ; elle est destinée à prouver définitivement l'oscillation atmosphérique $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$, en détectant la présence de ν_τ dans un faisceau pur de ν_μ .

1.3.1 le faisceau CNGS

Le faisceau nommé CNGS (Cern Neutrino to Gran Sasso) est produit au CERN et envoyé en direction du Gran Sasso en Italie, à 732 km. Il est créé à partir d'un faisceau de protons de 400 GeV envoyés sur une cible de graphite ($4.5 \cdot 10^{19}$ protons sur cible ou "pot" par an). Les hadrons produits (pions, kaons) sont orientés grâce à un système magnétique (composé de la corne et du réflecteur), de façon à focaliser les particules positives d'énergie déterminée en direction du Gran Sasso et défocaliser les particules chargées négativement; les π^+ et K^+ traversent un tube de désintégration sous vide de 1km de long, dans lequel ils vont produire des ν_μ dirigés vers le Gran Sasso, où le faisceau a alors une énergie moyenne de 17 GeV, un diamètre de 2 km et un angle de 3.3° par rapport à la tangente au sol [4].

On attend au Gran Sasso 36 événements $\nu_\tau CC$ par an pour 5400 événements $\nu_\mu CC$.

1.3.2 le détecteur OPERA

Le détecteur OPERA est situé dans le laboratoire sous-terrain du Gran Sasso, à 1400 m sous une montagne, ce qui permet de s'isoler efficacement des rayons cosmiques. Le détecteur est composé de deux super-modules représentés sur la figure 1.1, chacun comprenant une partie cible et un spectromètre magnétique à muons.

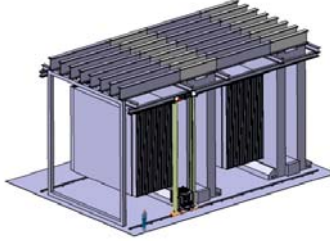


FIG. 1.1 – Schéma des deux super-modules du détecteur OPERA

Description de la cible :

Chaque élément cible est composé de 31 modules, chacun fait d'un mur de briques (64 rangées et 2x26 colonnes) suivi de 2 plans de scintillateurs plastiques croisés. Ces derniers jouent le rôle de déclencheur électronique et permettent de déterminer la brique dans laquelle a eu lieu une interaction. Les briques sont composées de 56 feuilles de Plomb de chacune 1 mm d'épaisseur, en alternance avec 57 films d'émulsion photographique de 290 μm d'épaisseur. Deux films d'émulsion (feuilles changeables ou CS) sont de plus attachés derrière la brique, en face des scintillateurs, afin de valider les prédictions de l'électronique.

Les particules chargées produites lors des interactions de neutrino dans le plomb ionisent les grains de bromure d'argent ; ces grains apparaissent noirs après traitement, permettant ainsi de reconstruire les traces avec une résolution angulaire de 2 mrad et une résolution en position de 2 μm [5].

L'insertion dans le détecteur des 206 000 briques ainsi que l'extraction des briques candidates sont assurées par deux robots manipulateurs conçus et réalisés au LAPP.

1.3.3 de la brique au vertex

Une fois qu'une brique candidate a été extraite du détecteur, la première étape consiste à confirmer la présence de traces dans les CS compatibles avec les prédictions de l'électronique. Si la correspondance n'est pas établie la brique est réinsérée dans le détecteur avec 2 nouvelles CS. Si les traces coïncident, les émulsions de la brique sont développées et envoyées dans un des 15

laboratoires de "scanning" européen ou japonais, où est réalisée l'analyse en ligne (digitisation) des émulsions.

L'analyse hors ligne conduit ensuite à la reconstruction de traces et de vertex. La figure 1.2 montre l'efficacité de reconstruire et celle d'attacher une trace à un vertex¹ : cette efficacité est de 80 à 90 % au dessus de 2 GeV ; cependant, des problèmes de reconstruction apparaissent au dessous de 600 MeV, dus à la diffusion des particules dans le plomb et à la détérioration de la résolution angulaire pour des grands angles. Cette efficacité pourra être améliorée à basse impulsion grâce à l'implémentation de la méthode de reconstruction d'impulsion par diffusion multiple dans l'algorithme de reconstruction de traces.

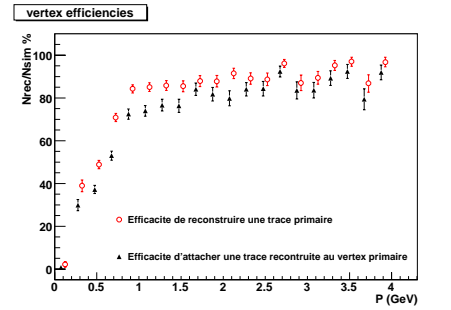


FIG. 1.2 – Efficacité de reconstruction et d'attachement au vertex primaire de traces simulées dans les émulsions ($\nu_\mu CC$)

1.4 Mesure d'impulsion par diffusion coulombienne multiple

La diffusion des particules dans le plomb est problématique pour la reconstruction de traces à basse énergie, mais peut être utilisée afin de mesurer leur impulsion.

1.4.1 Description de la méthode

La présence des films d'émulsion entre chaque feuille de plomb permet de mesurer la diffusion subie par les particules dans le plomb : la dispersion θ_{mes} de la distribution des différences d'angle est égale à la vraie dispersion θ_0 , qui dépend de l'impulsion de la particule et de l'épaisseur de plomb, plus un terme qui correspond à la résolution angulaire sur la différence d'angles entre deux basetraces (morceaux de traces dans les émulsions). On peut écrire :

$$\theta_{mes}^2 = \theta_0^2 + \delta\theta^2$$

où on peut approximer [6] :

$$\theta_0^2 = \frac{14.64^2}{(Pc\beta)^2} * \frac{N_{cell}}{X_0}$$

¹ étude réalisée avec un fichier Montecarlo de $\nu_\mu CC$)

où P est l'impulsion de la particule en MeV, N_{cell} l'épaisseur de plomb traversée en mm, et la longueur de radiation du plomb X_0 est égale à 5.6mm.

Pour une particule de 3GeV, la déviation dans 1mm de plomb est de 2.1mrad, valeur équivalente au $\delta\theta$, ce qui rendrait la mesure par MCS difficile au delà de 3GeV; cette considération a amené la méthode proposée par le LAPP :

- La première étape est d'évaluer la résolution des base-traces $\delta\theta$ en fittant la courbe θ_{mes} en fonction de N_{cell} avec plusieurs traces de même énergie.
- La deuxième étape est la mesure de l'impulsion trace par trace, en fittant θ_{mes} en fonction de N_{cell} avec le $\delta\theta$ évalué précédemment.

La figure 1.3 représente l'évolution θ_{mes} en fonction de N_{cell} pour des pions Montecarlo de différente énergie. Il apparait sur cette figure que, la diffusion étant moins importante à haute énergie, il sera d'autant plus difficile de mesurer l'impulsion qu'une particule sera énergétique.

La distribution de l'impulsion P calculée pour chaque

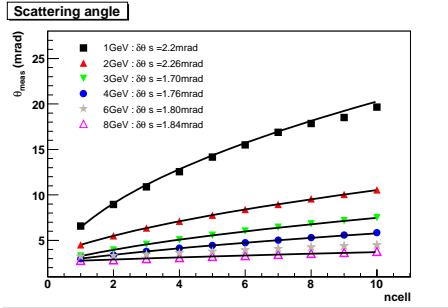


FIG. 1.3 – dépendance θ_{mes} en fonction de N_{cell} pour des pions MC de différente énergie

trace peut s'écrire sous la forme :

$$f(P) = \frac{P_0}{P^2} * \exp\left(\frac{1/P^2 + 1/P_1^2}{1/P_2^2}\right)$$

où P_0 , P_1 et P_2 sont des paramètres; P_1 est noté Prec et donne la valeur de l'impulsion reconstruite. La résolution en impulsion est donnée par la dispersion de la distribution de l'inverse de l'impulsion (gaussienne). La figure 1.4 montre un exemple des distributions de reconstruction et de résolution pour des pions de 2 GeV Montecarlo et de données de faisceau test.

1.4.2 Résultats données / Montecarlo

Une étude complète données/Montecarlo a été réalisée, avec des données réelles provenant de faisceaux-tests de pions au CERN en 2002 et 2004. Les figures 1.5 comparent les résultats obtenus : le MC est parfaitement linéaire dans la reconstruction de P ; le désaccord de 250 MeV pour les data de 4 GeV est attribuable à un décalage initial de l'impulsion du faisceau. Les résolutions vont de 25% pour 1GeV à 33% pour 8GeV. On

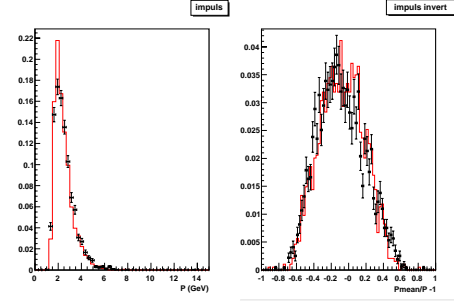


FIG. 1.4 – Distributions pour des pions 2 GeV MC/données réelles : à gauche de l'impulsion, à droite de l'inverse de l'impulsion. Les fits sur les data reconstruisent $P_{rec}=2.04 \pm 0.01$ GeV, et $\frac{\Delta P}{P}=24.1\% \pm 0.3$.

remarque ici que les résolutions des données réelles sont meilleures que celles du Montecarlo, car dans ce dernier, les efficacités de reconstruction ont été sur-estimées.

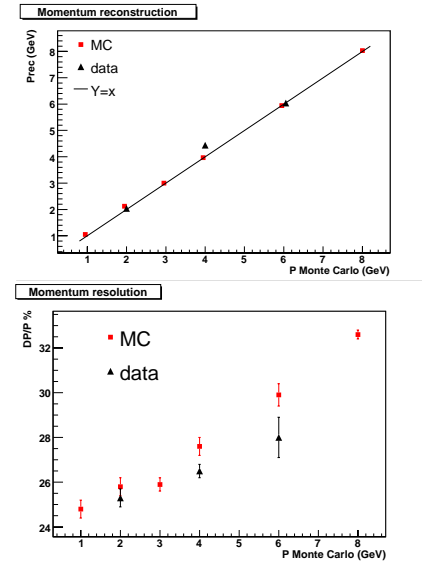


FIG. 1.5 – Comparaison données/MC : en haut l'impulsion reconstruite en fonction de l'impulsion MC (ou impulsion du faisceau), en bas la résolution en impulsion en fonction de l'impulsion

1.5 détection du lepton τ dans le canal $\tau^- \rightarrow 3h$

La signature de l'interaction du neutrino tau avec les noyaux de plomb du détecteur d'OPERA est la production du lepton tau, qui se désintègre après un parcours moyen d'environ $500\mu m$. Ses principaux canaux de désintégration sont :

$$\begin{aligned} \tau^- &\rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_\tau & (17.36\%) \\ \tau^- &\rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau & (17.84\%) \\ \tau^- &\rightarrow h^- \nu_\tau (+n\pi^0) & (49.22\%) \end{aligned}$$

$$\tau^- \rightarrow h^- h^- h^+ \nu_\tau (+n\pi^0) \quad (15.19\%)$$

La désintégration du τ en lepton plus léger ou en un hadron se remarque par un coude dans la trace de la particule dû à l'émission de neutrinos ; le canal en trois hadrons chargés donne aux événements $\nu_\tau \rightarrow \tau \rightarrow 3h$ une topologie remarquable à deux vertex, avec une gerbe hadronique à chaque vertex ainsi que l'émission d'un ν_τ au deuxième, invisible dans le détecteur.

Ce dernier canal n'a été que peu étudié à cause du bruit de fond élevé, qui provient majoritairement de la désintégration de particules charmées produites par les ν_μ ; le rapport entre la section efficace de production d'un quark charme par courant chargé et la section efficace $\nu_\mu CC$ (sections efficaces de diffusion profondément inélastique) est de $3.3 \pm 0.5\%$ [4]. Les particules charmées créées (Λ_c^+ , D^+ , D_s^+ , D^0) ont des masses et temps de vol similaires au τ et possèdent des topologies semblables dans le canal charme $\rightarrow 3h$ par rapport au $\tau \rightarrow 3h$.

Considérant les 5400 événements $\nu_\mu CC$, on obtient au total 24 événements charme $\rightarrow 3h$ produits par an dans la cible d'OPERA (taux de branchement calculés à l'aide du PDG 2004), pour 4 événements $\tau \rightarrow 3h$. Ceci nous amène à une contamination de l'échantillon signal de 86 %.

Pour réduire cette contamination, j'ai développé des variables topologiques discriminantes. Les résultats préliminaires (sans corrélations entre les variables) sur la séparation tau/charme sont exprimés à l'aide des figures 1.6, où sont représentés le rapport de vraisemblance et la courbe d'efficacité/pureté : on obtient alors une efficacité de 7.1% pour une pureté de 90%.

Le signal attendu sur 5 ans pour chaque canal est donné dans le tableau 1.1, pour une pureté de 90%. L'étude pour le canal 3h n'a été réalisée qu'au niveau générateur, et les efficacités de reconstruction ne sont pas encore prises en compte. Néanmoins, la quantité d'événements apportés par ce canal est non négligeable compte-tenu du bruit de fond résiduel.

Canal	ϵ	Nb d'événement de signal	Nb d'événement de fond
e^-	19.4%	6.1	0.31
μ^-	16%	5.1	0.33
h^-	5.8%	5.3	0.42
3h	7.1%	1.4	0.16
total	48.3%	17.9	1.22

TAB. 1.1 – Signal attendu sur 5 ans

Conclusion

Ce document décrit le travail que j'ai réalisé pendant ma première année de thèse : la méthode de construc-

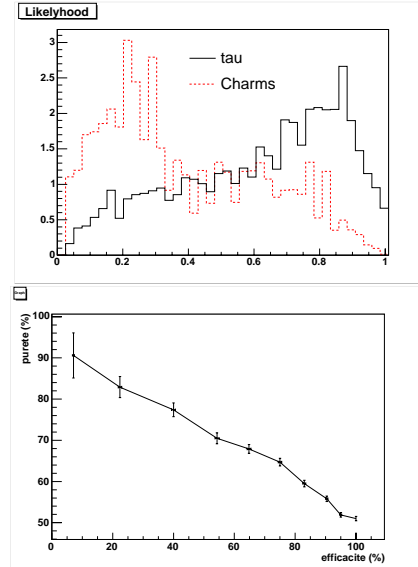


FIG. 1.6 – Résultats sur la séparation tau/charme à l'aide de variables topologiques : en haut le rapport de vraisemblance, en bas la courbe d'efficacité/pureté

tion d'impulsion par diffusion coulombienne est aujourd'hui implémentée dans l'algorithme de reconstruction de traces, et pourra améliorer l'efficacité de reconstruction à basse impulsion. D'autres part, les résultats préliminaires sur le canal de désintégration du τ en 3 hadrons sont encourageants et peuvent optimiser les performances d'analyse d'OPERA pour la détection d'interactions ν_τ .

Remerciements

C'est un plaisir de remercier les coordinateurs des différentes sessions sans oublier les gentils organisateurs !

Références

- [1] K.Kodama et al., Physics Letters B 504 (2001) 218-224
- [2] S.M.Bilenky, G.Giunti and W.Grimus. *Phenomenology of Neutrino Oscillations*, hep-ph/9812360 (1998)
- [3] The OPERA collaboration. *First events from the CNGS neutrino beam detected in the OPERA experiment*, hep-ex/0611023 (2006)
- [4] M.Guler et al The OPERA Collaboration. *Experimental Proposal*, CERN 98-02, INFN/AE-98/05
- [5] C.Boza et al. *High-speed particle tracking in nuclear emulsion by last-generation automatic microscopes*, NIM Physics Research A551 (2005) 261-270.
- [6] M.Brun, M.Hansroul. *Gaussian multiple scattering*, GEANT3.16 User's guide Phys320, Juin 1985.